УДК 658.24

Н.И.САМОЙЛЕНКО, д-р техн. наук, В.П.ПРОТОПОПОВА,
И.А.ГАВРИЛЕНКО
*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

# РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ С МОСТОВЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассматривается надежность трубопроводной сети в виде двух дублирующих линий с перемычками (мостами). Разработана методика расчета надежности такой системы с произвольным числом участков с различной надежностью каждого из них.

При транспортировке целевого продукта (нефть, газ, вода) надёжность объектов транспортировки должна быть максимально высокой, поскольку выход одного из участков может нарушить не только функционирование системы, но и привести к экологической катастрофе. Одним из эффективных способов повышения надёжности является дублирование трубопроводов [1]. Для обеспечения профилактических работ и дальнейшего повышения надёжности параллельных трубопроводов создают так называемые мостовые соединения (перемычки). Сооружение коротких перемычек намного дешевле строительства третьего параллельного трубопровода. Расчет надежности системы с мостовыми соединениями, состоящих из двух или трех звеньев при одной или двух перемычках не представляет особого труда [2, 3]. При увеличении числа перемычек громоздкость формул для расчета надежности лавинообразно нарастает. Несмотря на то, что при числе перемычек больше двух расчетные формулы надежности становятся громоздкими, нам удалось построить математическую модель для произвольного числа звеньев с произвольными надёжностями отдельных участков системы, а также реализовать данный алгоритм в виде программы на языке $C^{++}$.

Целью работы является оценка надежности трубопроводной системы в виде двух параллельных линий, соединенных перемычками.

Рассмотрим трубопроводную систему с произвольным числом ($n$) элементов и ($n$-1) мостов. Расчетная схема такой системы представлена на рис.1.

Введем обозначения: $A$ – событие, которое заключается в работоспособности системы на протяжении определенного периода времени $T$; $P_{ik}$ – вероятность безотказной работы $k$-го элемента на $j$-й линии на протяжении периода времени $T$, где $j$ = 1,2; $P_m(i)$ – вероятность безотказной работы $i$-го моста на протяжении периода времени $T$.

Рассмотрим следующие гипотезы, представляющие полную группу событий, характеризующих работу мостов на протяжении периода времени $T$; $H_0$ – ни один мост не работает; времени $H_1(i)$ – один $i$-й мост работает; $H_m(i,j,...,s)$ – работают $m$ мостов с номерами $i,j..,s$; $H_{n-1}(1,2,...,n-1)$ – все ($n$-1) мостов работают.

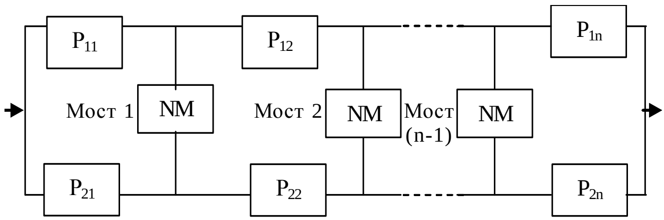


Рис.1 – Пример трубопроводной системы с мостовыми соединениями элементов

Рассмотрен случай, когда значения надёжностей всех мостов $P_m(i)$ =$NM$ равны. Тогда вероятности гипотез имеют вид:

$$P(H_0) = (1 - NM)^{n-1}; \tag{1}$$

$$P(H_1) = NM \cdot (1 - NM)^{n-2}; \tag{2}$$

$$P(H_m) = NM^{\,m} \cdot (1 - NM)^{n-m-1}; \tag{3}$$

$$P(H_{n-1}) = NM^{\,n-1}. \tag{4}$$

Определены условные вероятности события $A$ в предположении, что осуществилась та или иная гипотеза.

Если ни один мост не работает, то вероятность безотказной работы системы будет равна

$$P(A/H_0) = \prod_{k=1}^{n} P_{1k} + \prod_{k=1}^{n} P_{2k} - \prod_{k=1}^{n} P_{1k} \cdot \prod_{k=1}^{n} P_{2k}\ . \tag{5}$$

Если в системе работает один $i$-й мост, вероятность безотказной работы системы равна

$$P(A/H_1^i) = \left( \prod_{k=1}^{i} P_{1k} + \prod_{k=1}^{i} P_{2k} - \prod_{k=1}^{i} P_{1k} \cdot \prod_{k=1}^{i} P_{2k} \right) \times$$
$$\times \left( \prod_{k=i+1}^{n} P_{1k} + \prod_{k=i+1}^{n} P_{2k} - \prod_{k=i+1}^{n} P_{1k} \cdot \prod_{k=i+1}^{n} P_{2k} \right). \tag{6}$$

При работающих двух мостах вероятность безотказной работы системы будет составлять

$$P(A/H_2^{i,l}) = \left( \prod_{k=1}^{i} P_{1k} + \prod_{k=1}^{i} P_{2k} - \prod_{k=1}^{i} P_{1k} \cdot \prod_{k=1}^{i} P_{2k} \right) \times$$
$$\times \left( \prod_{k=i+1}^{l} P_{1k} + \prod_{k=i+1}^{l} P_{2k} - \prod_{k=i+1}^{l} P_{1k} \cdot \prod_{k=i+1}^{l} P_{2k} \right) \times \qquad (7)$$
$$\times \left( \prod_{k=l+1}^{n} P_{1k} + \prod_{k=l+1}^{n} P_{2k} - \prod_{k=l+1}^{n} P_{1k} \cdot \prod_{k=l+1}^{n} P_{2k} \right).$$

Записав выражение для вероятности безотказной работы системы при работающих трех и четырех мостах (из-за громоздкости формул не приведены), можно увидеть определенную закономерность, которая позволила вывести формулу вероятности безотказной работы системы при работоспособности произвольного количества ($m$) мостов:

$$P(A/H_m^{i,l,..,s}) = \left( \prod_{k=1}^{i} P_{1k} + \prod_{k=1}^{i} P_{2k} - \prod_{k=1}^{i} P_{1k} \cdot \prod_{k=1}^{i} P_{2k} \right) \times$$
$$\times \left( \prod_{k=i+1}^{l} P_{1k} + \prod_{k=i+1}^{l} P_{2k} - \prod_{k=i+1}^{l} P_{1k} \cdot \prod_{k=i+1}^{l} P_{2k} \right) \times \ldots \qquad (8)$$
$$\times \left( \prod_{k=s+1}^{n} P_{1k} + \prod_{k=s+1}^{n} P_{2k} - \prod_{k=s+1}^{n} P_{1k} \cdot \prod_{k=s+1}^{n} P_{2k} \right),$$

где $m = \overline{1, n-1}$.

Вероятность безотказной работы системы при условии, что все ($n$–1) мостов работают

$$P(A/H_{n-1}) = \prod_{k=1}^{n} \left( P_{1k} + P_{2k} - P_{1k} \cdot P_{2k} \right). \qquad (9)$$

Условные вероятности безотказной работы системы при выполнении соответствующей гипотезы позволяют определить общую надежность всей системы.

По формуле полной вероятности вычислена общая надежность системы при работе всех комбинаций с $m$ мостами:

$$P(A) = \sum_{m=0}^{n-1} SP(A/H_m) P(H_m), \qquad (10)$$

где $SP(A/H_m)$ – суммы условных вероятностей при работе всех комбинаций из $m$ мостов, которые соответствуют величинам:

$$SP(A/H_1) = \sum_{i=1}^{n-1} P(A/H_1(i))\,; \tag{11}$$

$$SP(A/H_2) = \sum_{i=1}^{n-2} \sum_{j=2}^{n-1} P(A/H_2(i,j))\,; \tag{12}$$

$$SP(A/H_3) = \sum_{i=1}^{n-3} \sum_{j=2}^{n-2} \sum_{s=3}^{n-1} P(A/H_3(i,j,s)); \tag{13}$$

$$SP(A/H_m) = \sum_{i=1}^{n-m} \sum_{j=2}^{n-m-1} \cdot \ldots \cdot \sum_{s=m}^{n-1} P(A/H_m(i,j,\ldots s))\,. \tag{14}$$

На основе проведенных исследований разработан алгоритм оценки надежности системы с мостовыми соединениями элементов (рис.2) и реализован в виде программы на языке программирования $C^{++}$.

В качестве вычислительного эксперимента проведен расчет конкретных технических систем с 5, 10, 20, 30 элементами.

В случае с пятью элементами выполнено два расчета:

а) с различными надёжностями элементов;

б) с равными надёжностями, в качестве которых выбрано среднее геометрическое надежностей элементов, входящих в систему.

Анализ полученных результатов показывает, что при равных надёжностях элементов, общая надежность системы выше, что согласуется с теорией. Так, в системе с пятью элементами ($n$=5) надёжность системы при различных значениях надёжностей элементов равна 0,8557, а при равных значениях надёжностей элементов – 0,8752.

Таким образом, представлено решение задачи оценки надежности трубопроводной системы с мостовыми соединениями элементов, которое в отличие от существующих методов позволяет проводить расчет надежности системы с произвольным числом элементов. При таком подходе можно не только определить надежность всей системы, но и выявить роль каждого элемента в работоспособности системы. Предложенный метод можно применить для практического обоснования выбора структуры магистральных трубопроводов с наименьшими экономическими затратами при проектировании и реконструкции трубопроводных систем. Использование представленного математического аппарата позволит сократить временные и денежные затраты на расчет надежности проектируемых трубопроводных систем.

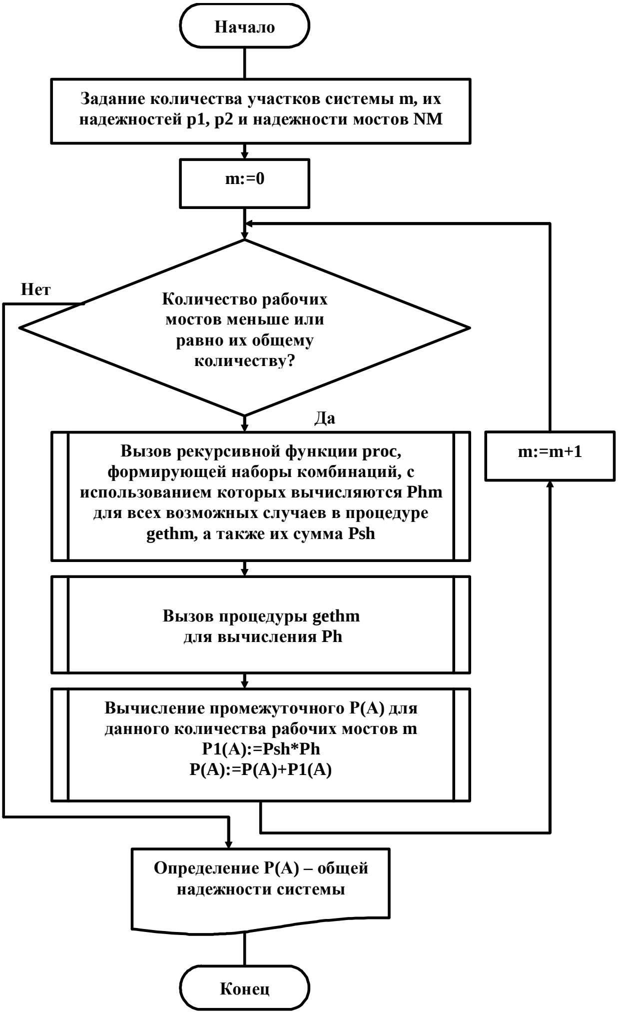


Рис. 2 – Алгоритм расчета надежности трубопроводной системы с мостовыми соединениями элементов

1.Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочник. В 4-х т. / Под общ. ред. Ю.Н.Руденко. Т.4. Надежность систем теплоснабжения. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 351с.

2.Рудь И.А. Расчет надежности технических систем с мостовым соединением элементов // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.20. – К.: Техніка, 1999. – С.37–42.

3.Гавриленко И.А., Передерий Т.С., Самойленко Н.И. Повышение надежности функционирования магистрального трубопровода // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.72. – К.: Техніка, 2006. – С.193-200.

*Получено 26.02.2007*

УДК 621.16

Г.А.ЛЕЩИНСКИЙ, А.Р.КОРСУНОВ, кандидаты техн. наук
*Украинская инженерно-педагогическая академия, г.Харьков*

## ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЙ ВХОДНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ДВУХФАЗНОГО ТЕЧЕНИЯ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СИЛЫ В ТРУБОПРОВОДАХ

Приводится расчетный анализ гидродинамических параметров двухфазного потока в трубопроводах электростанций, влияющих на их вибрационное состояние.

Для трубопроводных систем электростанций проблемной является борьба с повышенными вибрациями. Решение этой проблемы связано с необходимостью теоретических и экспериментальных исследований, по результатам которых могут быть получены практические рекомендации по снижению вибраций, влияющих на экономичность отдельных агрегатов энергоблоков и приводящих в некоторых случаях к их аварийному состоянию.

Для расчетов, приведенных в статье, использована математическая модель [1, 2] двухфазного адиабатного одномерного нестационарного потока, дополненная нами двумя уравнениями, учитывающими термодинамическую неравновесность фазового перехода при адиабатном парообразовании.

Полученная таким образом общая система нелинейных уравнений решалась на ЭВМ современным методом прямых: по временной координате разностным методом, по пространственной координате методом Рунге-Кутта.

Цель работы – определение амплитудного и частотного диапазонов, переменной составляющей давления на входе в трубопроводы, вызывающей повышенную вибрацию.

Упомянутая система уравнений применяется для расчета параметров двухфазного потока и гидродинамических сил в трубопроводе конденсата греющего пара подогревателя высокого давления (ПВД) турбины К-300-240 при номинальной нагрузке (рис.1).

Зависимость изменения во времени переменной составляющей давления на входе в трубопровод в виде $\Delta P_1(\tau) = 12\sin\dfrac{\pi}{0{,}6}\tau$ (кПа) была получена экспериментально с помощью прибора [3]. Этим же